



EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA Y LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS (MAR)

Experiencias en España

José Antonio de la Orden Gómez
Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica



VISIÓN HISTÓRICA

El IGME y la recarga artificial en España

Desde los años 80, el IGME ha ejecutado o controlado varias experiencias de RA en España. Las más importantes son:

- Acuífero aluvial del río Oja (La Rioja)**
- Plana del río Verde-Guadix (Granada)**
- Calcarenitas de Carmona (Sevilla)**
- Acuífero aluvial del río Guadalquivir (Sevilla)**
- Mancha Real (Jaén)**
- Alcalá la Real (Jaén)**
- Acuífero Gracia-Morenita (Jaén)**
- Valle del río Esgueva (Valladolid)**
- Acuífero de Vergel (Alicante)**

**La mayor parte se sitúan sobre la España “seca”
(El sur del país y el arco mediterráneo)**



ATLANTIC OCEAN

PORTUGAL



MEDITERRANEAN SEA

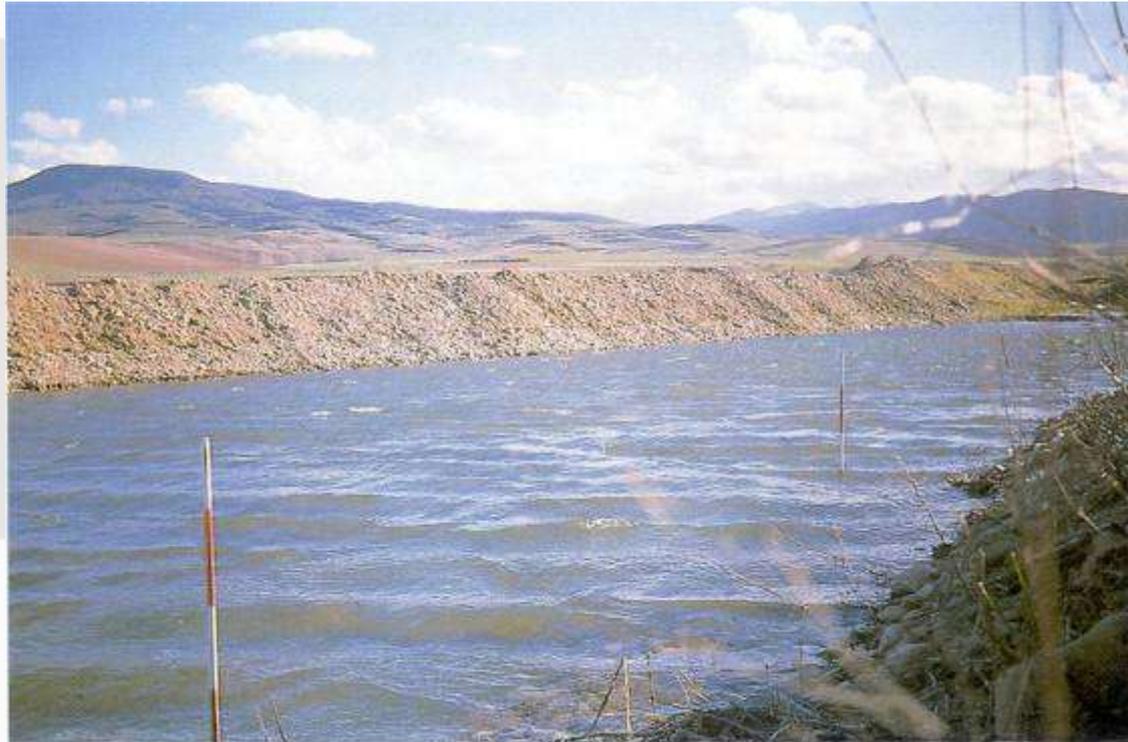
RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO ALUVIAL DEL RÍO OJA.

- **Espesor del acuífero: 5 a 20 m.**
- **Velocidad del flujo subterráneo: 200-400 m/d.**
- **El acuífero está conectado con el río, que permanece seco durante el estío.**
- **Tuvo lugar entre 1987-1990.**
- **Sistema de recarga: 3 balsas y canales.**
- **Volumen infiltrado: 2.5-5 Mm³/a**
- **El agua de recarga procedía de los excedentes invernales del río, cuya calidad era excelente.**

PROBLEMAS:

- **Colmatación. La tasa de infiltración cayó desde 19 m/d hasta 1 m/d después de 4 años de operación.**
- **La descarga subterránea del agua recargada hacia el río tenía lugar en un tiempo menor de un mes.**
- **Este acuífero no presenta adecuadas características hidrodinámicas para la RA.**

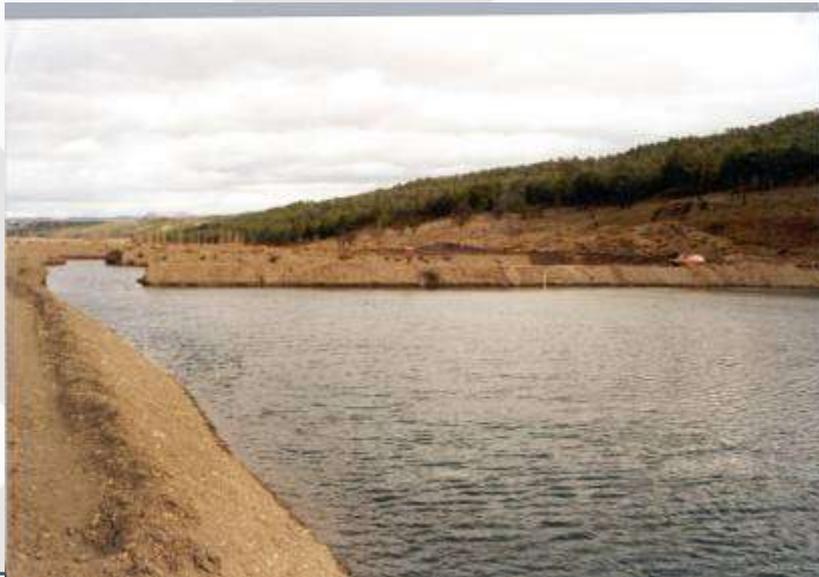
RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO ALUVIAL DEL RÍO OJA.



BALSA DE INFILTRACION

RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO ALUVIAL DEL RÍO VERDE.

- **En la zona de Guadix se riegan 3,000 ha de cultivos de alto rendimiento.**
- **Aguas arriba de los cultivos, existía una mina de hierro que precisaba un drenaje constante, evaluado en 7 Mm³/a.**
- **Esta agua se vertía al cauce del río Verde, pero únicamente el 50% se aprovechaba. El resto se perdía por la ausencia de sistemas de regulación de recursos hídricos.**
- **Por ello, se planificó una RA para evitar esta pérdida de agua, utilizándola para dicha recarga del acuífero de Guadix.**
- **Características del acuífero:**
 - **Espesor: 80-300 m**
 - **Transmisividad: 80-800 m/día**
 - **Porosidad efectiva: 3-15%.**





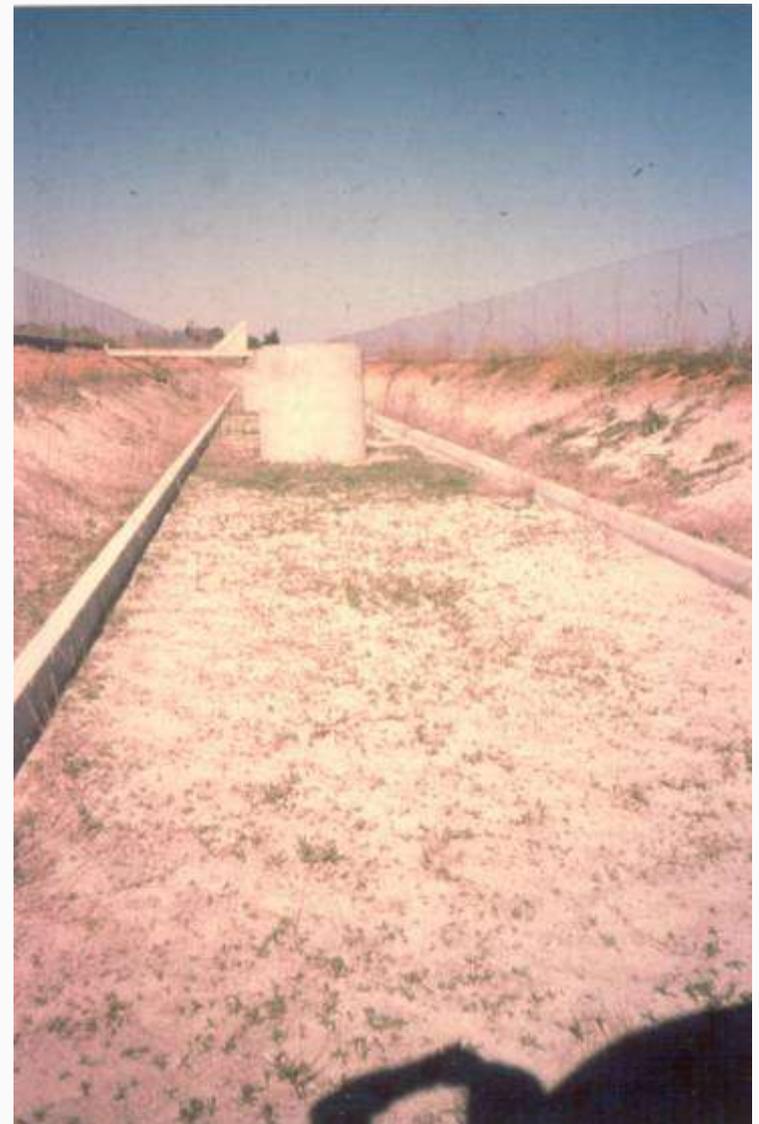
PRINCIPALES DATOS DE LA RA DE GUADIX.

- **La RA se hacía mediante 6 balsas de infiltración, con un area total de 11,550 m².**
- **La calidad del agua era óptima, con muy bajos contenidos en sólidos en suspensión.**
- **El caudal recargado fue de hasta 200 L/s.**
- **Volúmenes medios infiltrados: 17,000 m³/d**
- **LA INSTALACION FUNCIONO CORRECTAMENTE DURANTE 10 AÑOS, HASTA QUE LA ACTIVIDAD MINERA CESÓ.**
- **En la actualidad, los agricultores no disponen de esta agua, por lo cual sufren más períodos de escasez y menos separados.**

RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO ALUVIAL DEL RIO GUADALQUIVIR.

- Esta RA se planteó con el objeto de paliar los déficits de agua durante el verano para el riego de 30,000 ha en los márgenes del río Guadalquivir.**
- El agua de recarga procede del canal del Guadalquivir. Presenta un alto contenido en sólidos en suspensión, de hasta 250 mg/L, por lo cual fue preciso construir una balsa previa de decantación en la instalación de recarga.**
- La instalación consiste en una zanja de 5 m de profundidad, 500 m de largo y 12 m de ancho, con un filtro de gravas en el fondo y varios pozos completamente penetrantes en el acuífero, a través de los cuales se efectúa la recarga.**





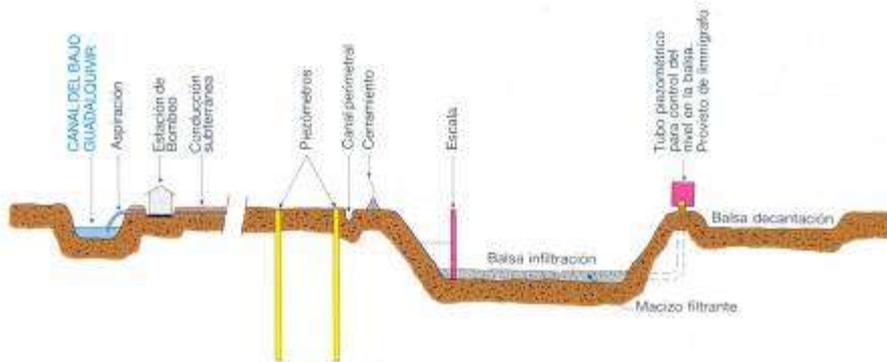
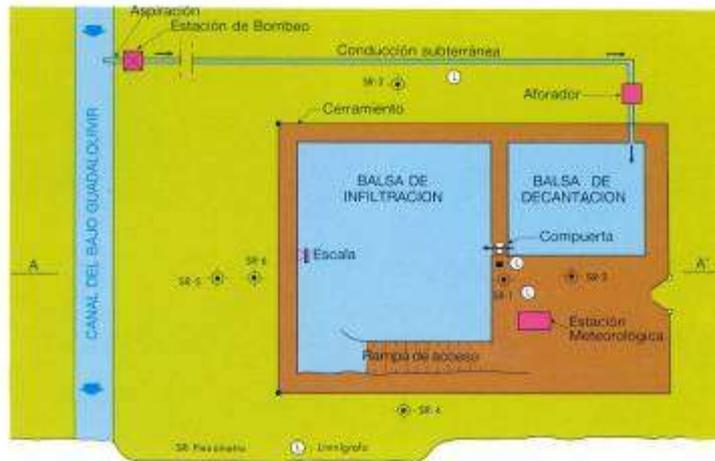
RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO ALUVIAL DEL RIO GUADALQUIVIR.

RESULTADOS:

- Un rápido aumento del nivel del agua, de hasta 4 m, en las proximidades de la zanja. A 500 m de distancia, el aumento fue de 1.5 m con un desfase de 7-10 días desde la recarga.**
- Velocidad muy alta del agua subterránea, 25-70 m/día, por lo cual se estima que el agua recargada permanece en el acuífero entre 60-150 días antes de que se descargue naturalmente hacia el río. Este tiempo no es suficiente para cumplir con los objetivos de la recarga.**
- La balsa de decantación no pudo evitar la colmatación y la tasa de infiltración se redujo rápidamente.**

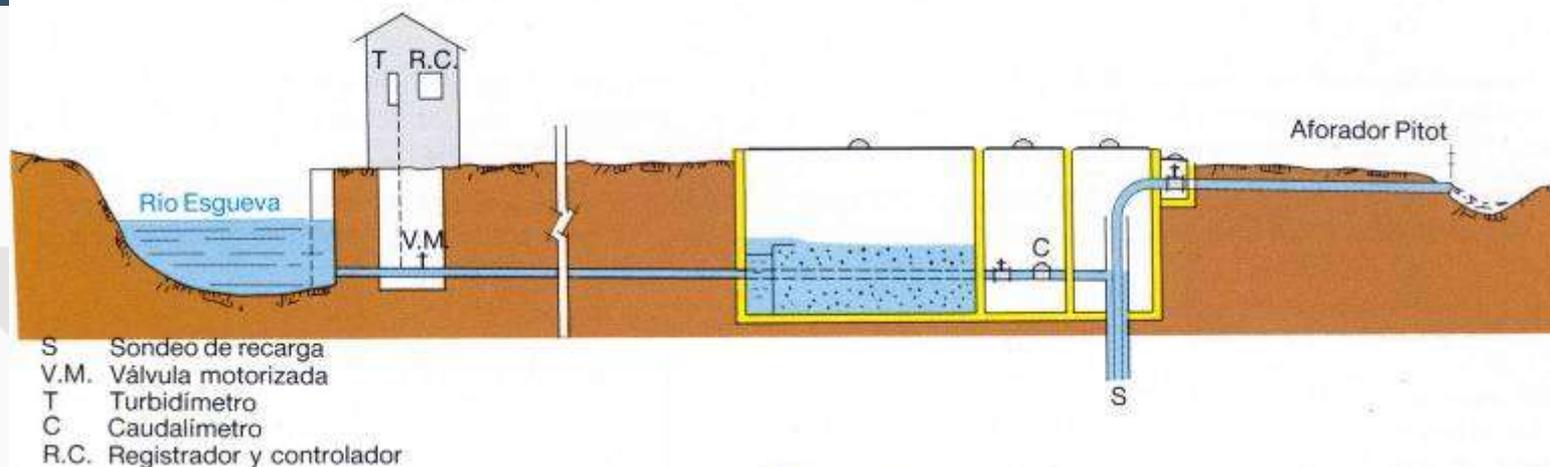
RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE CARMONA.

- La RA se planeó con el fin de paliar el déficit de agua que presenta la agricultura de regadío de la zona, que está evaluado en 9 Mm³/a.**
- El sistema de recarga consistía en una balsa de decantación, una balsa de infiltración y un pozo de 9 m de profundidad y 1.2 m de diámetro.**
- El agua de recarga procedía del canal del Bajo Guadalquivir, con un un elevado contenido en sólidos en suspensión, y, además, contaminación ocasional por metales pesados.**
- Se llevaron a cabo varios ensayos piloto, de duración siempre menor de un mes.**
- La no disponibilidad de agua, tanto en cantidad como con la calidad requerida, obligó a abandonar esta experiencia de RA.**



RECARGA ARTIFICIAL EN EL VALLE DEL RIO ESGUEVA.

- **La recarga se hizo en un acuífero profundo de 100 m de espesor recubierto por una capa impermeable de 200 m de espesor.**
- **Transmisividad 30 a 180 m²/d.**
- **El agua se infiltraba a través de un sondeo de 300 m de profundidad, con un caudal de 15 L/s. Este caudal disminuyó rápidamente a medida que el nivel del agua en el sondeo era mayor.**
- **La cantidad de sólidos en suspensión era de 2-3 mg/L, excepto en época de avenidas, en que llegaba a ser de 30 mg/L. Por ello hubo que instalar un filtro de grava que era capaz de reducir los sólidos en suspensión entrantes al sondeo hasta 0.5 mg/L.**
- **Los resultados fueron satisfactorios.**



ESQUEMA GENERAL



TOMA DE AGUA DEL RÍO

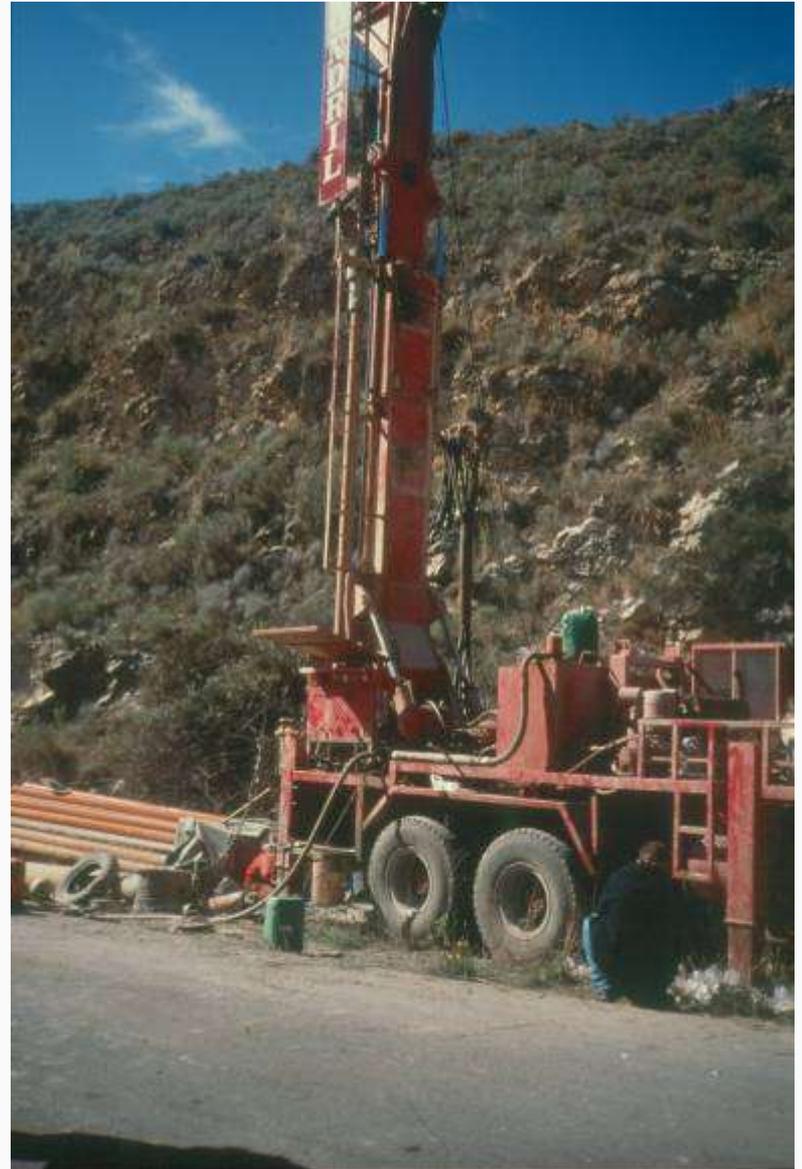


TURBIDIMETRO

RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE JIJONA.

- **La RA se planeó con el fin de aprovechar los excedentes del manantial de Nuches y la escorrentía del río Coscón asociada a fuertes precipitaciones mediante un sistema de recarga dual: un pozo de recarga y un sistema de embalses de infiltración contruidos en el cauce del barranco de vaso permeable.**

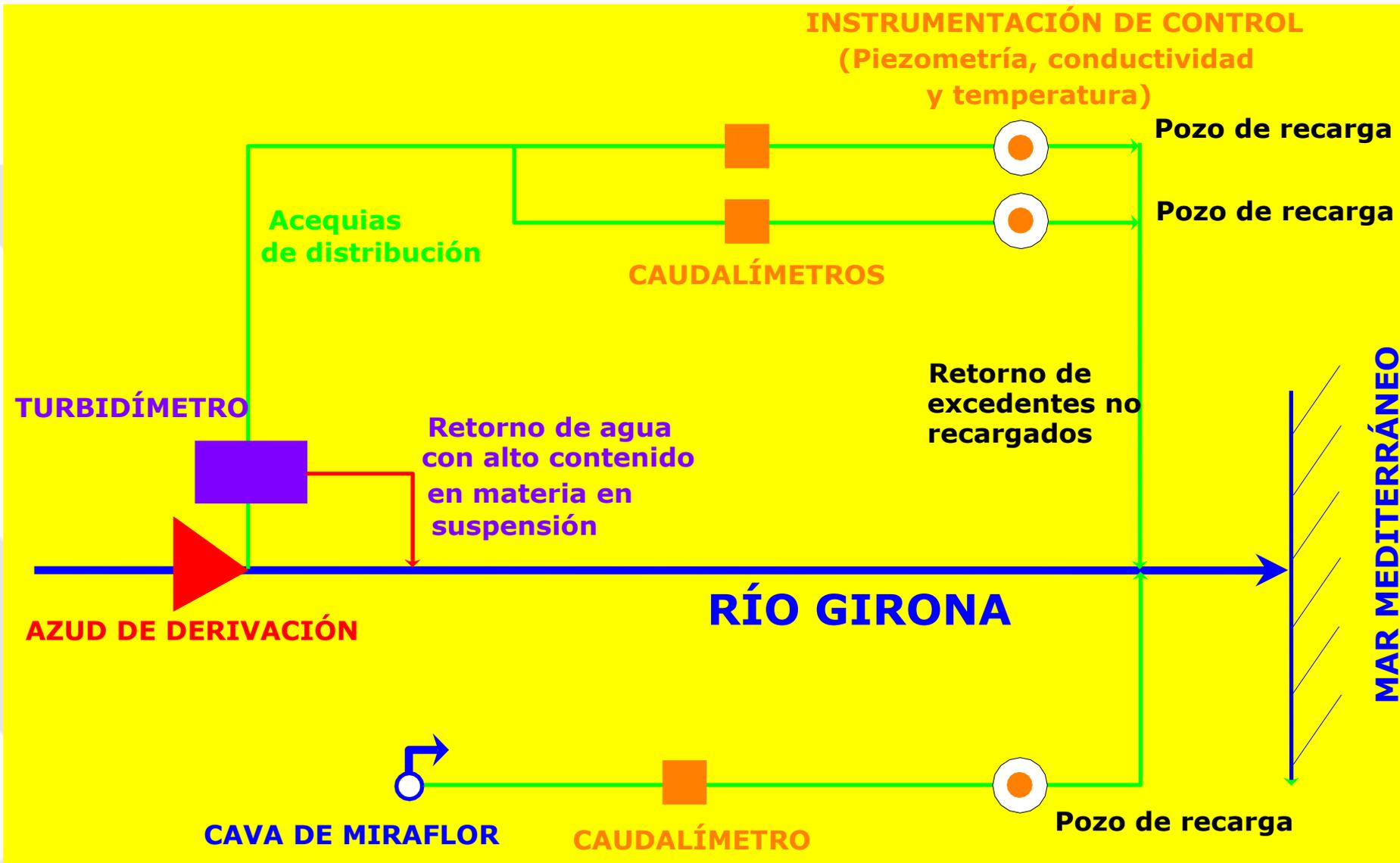




RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO DE VERGEL.

- **Acuífero detrítico cuaternario**
 - **18 km² superficie**
 - **Recursos: 11 Mm³/a**
 - **Transmisividad: 1000 a 10000 m²/d**
 - **Porosidad efectiva: 5% to 15%**
- 
- **Comenzaron a realizarla los agricultores de la zona, utilizando excedentes de regadío procedentes de una galería de drenaje. Lleva realizandose desde 1985.**
 - **El agua de recarga procede del mismo acuífero, y se drena a través de una galería construida para transportar el agua subterránea hacia las áreas de regadío.**
 - **El agua de recarga tiene una mejor calidad que el agua nativa.**
 - **Volúmenes recargados: 0.8 to 1.2 Mm³/a**





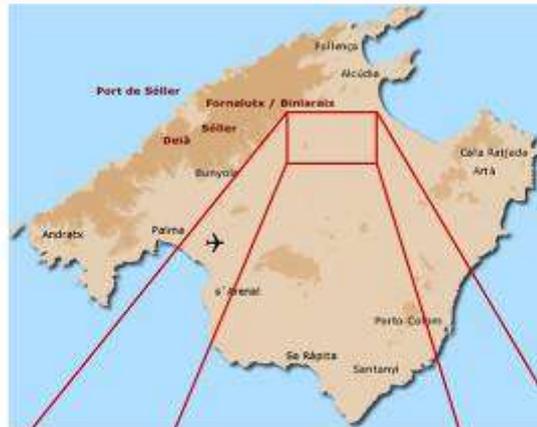
RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO DE VERGEL.

EFECTOS Y BENEFICIOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL:

- Se ha detectado un aumento del nivel freático de hasta 2 m en los pozos de recarga.**
- Una moderada mejora en la calidad del agua, únicamente detectada en los pozos de recarga.**
- Un aumento del 14% de los recursos del acuífero.**
- Muy bajos costes de operación, debido a que se están utilizando pozos actualmente abandonados, y acequias de riego que son usadas y mantenidas por los agricultores. El coste es de aproximadamente 0,01 €/m³.**
- No se han detectado problemas de colmatación, porque los caudales de recarga son mucho menores que la capacidad de infiltración de los pozos (del orden de la tercera parte).**



PROYECTOS ACTUALES



OBJETIVO

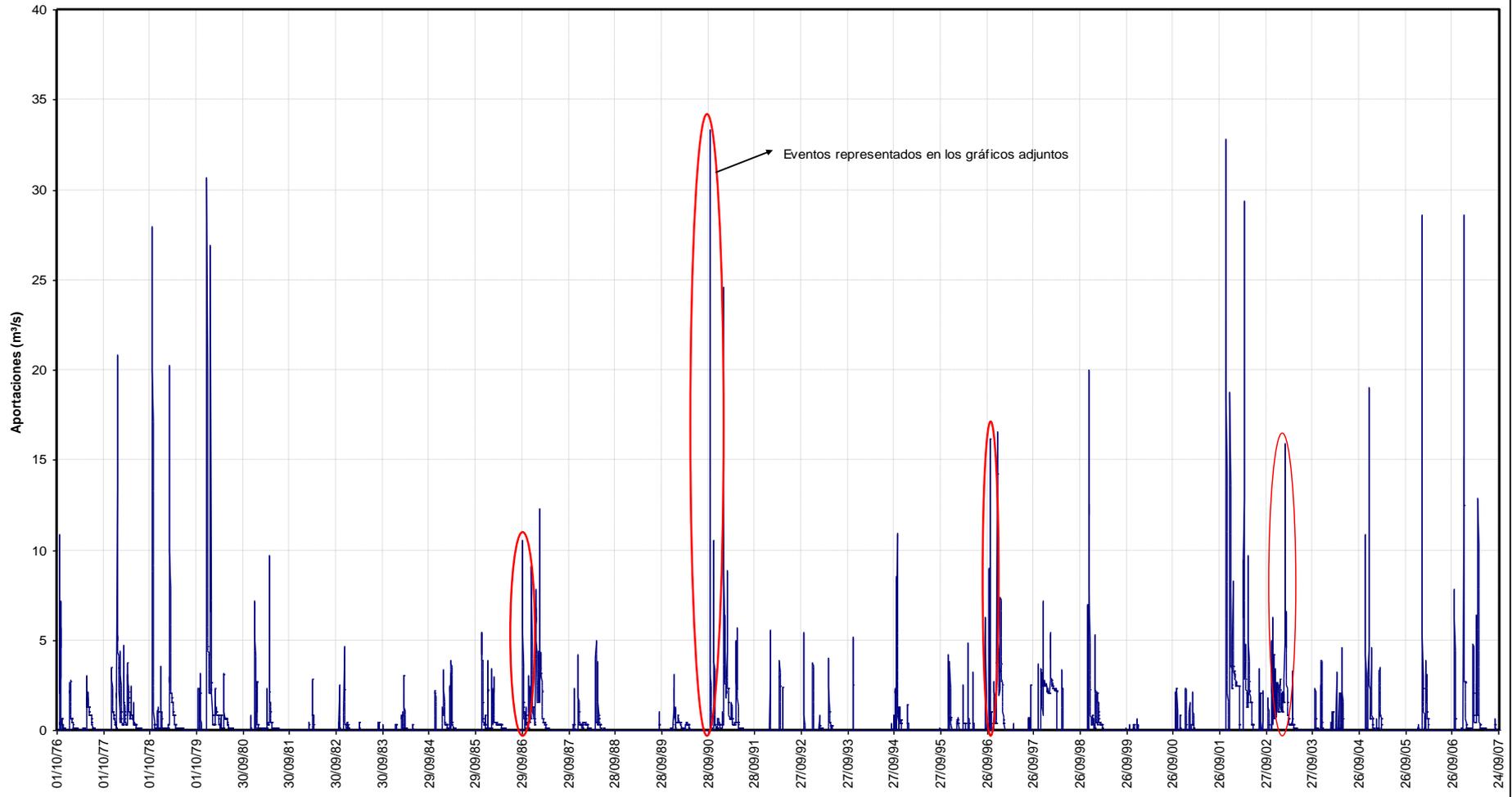
Reemplazar captaciones de agua potable del acuífero del Llano de Inca-Sa Pobla (contaminado por nitratos) por agua del acuífero de Crestatx, compensando el incremento de explotación de este último con recarga artificial.

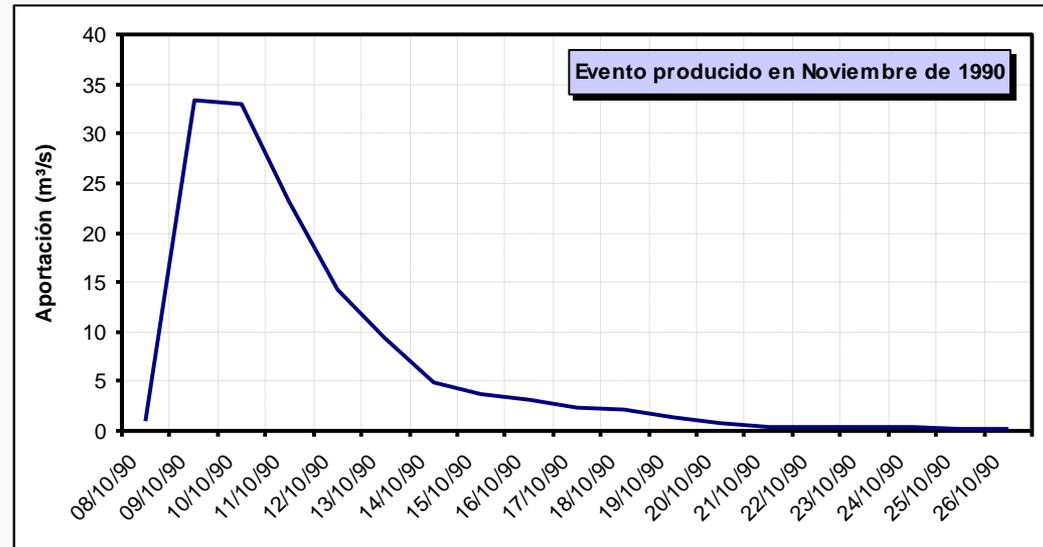
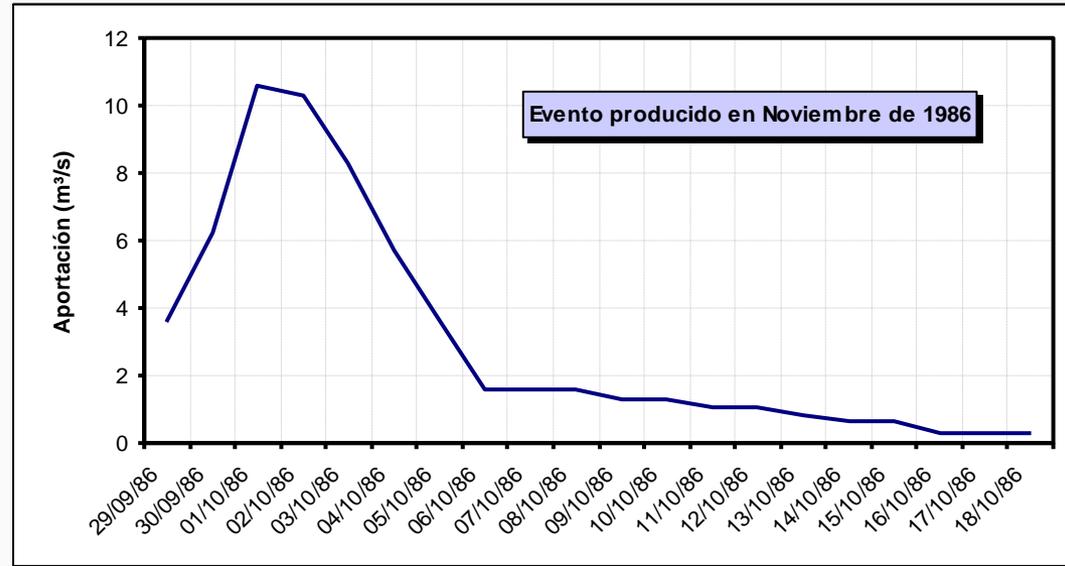
La fuente de agua para la recarga es la descarga natural de los manantiales de las fuentes “Ufanés de Gabellí”.

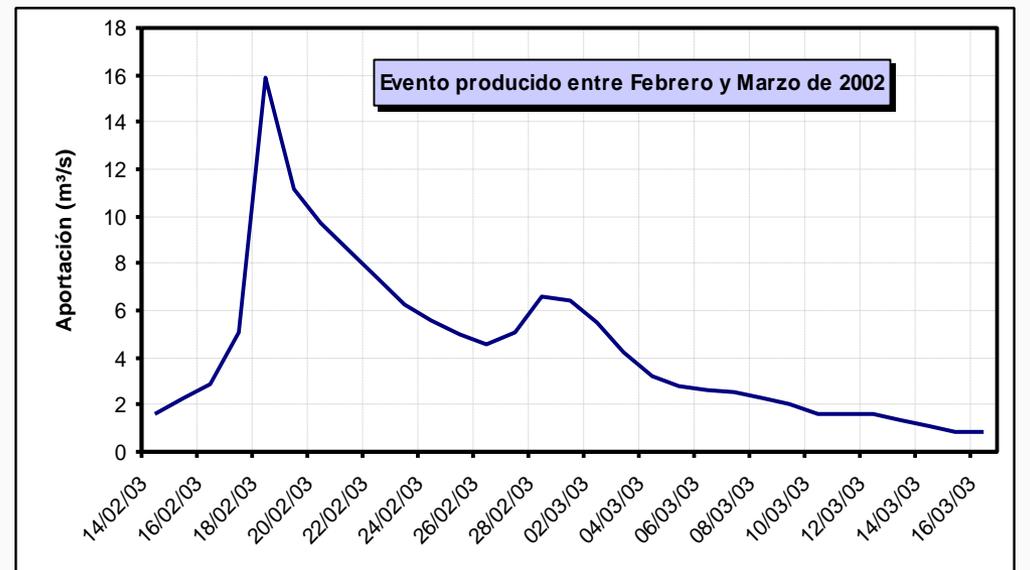
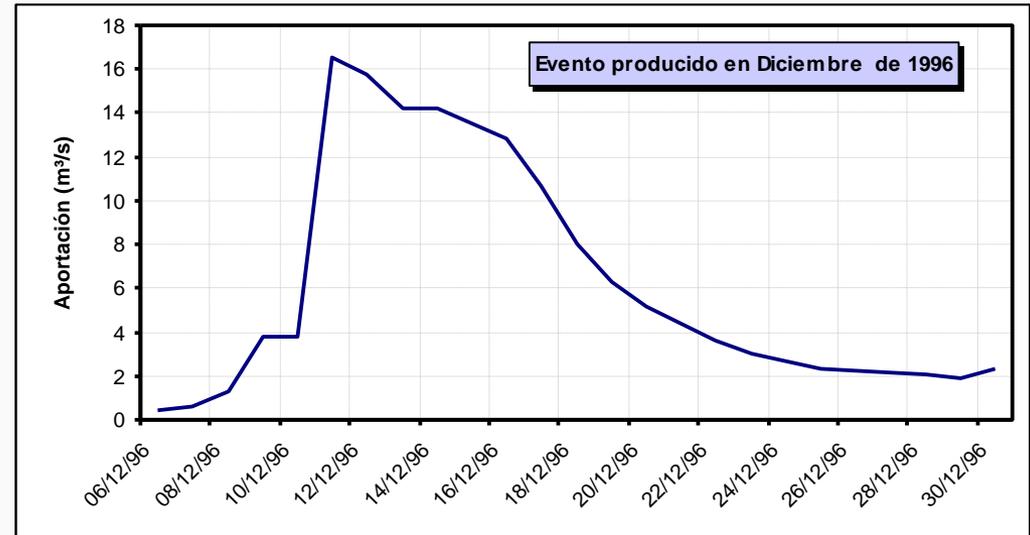
La recarga se realizará mediante sondeos de inyección en el acuífero calizo de Crestatx.

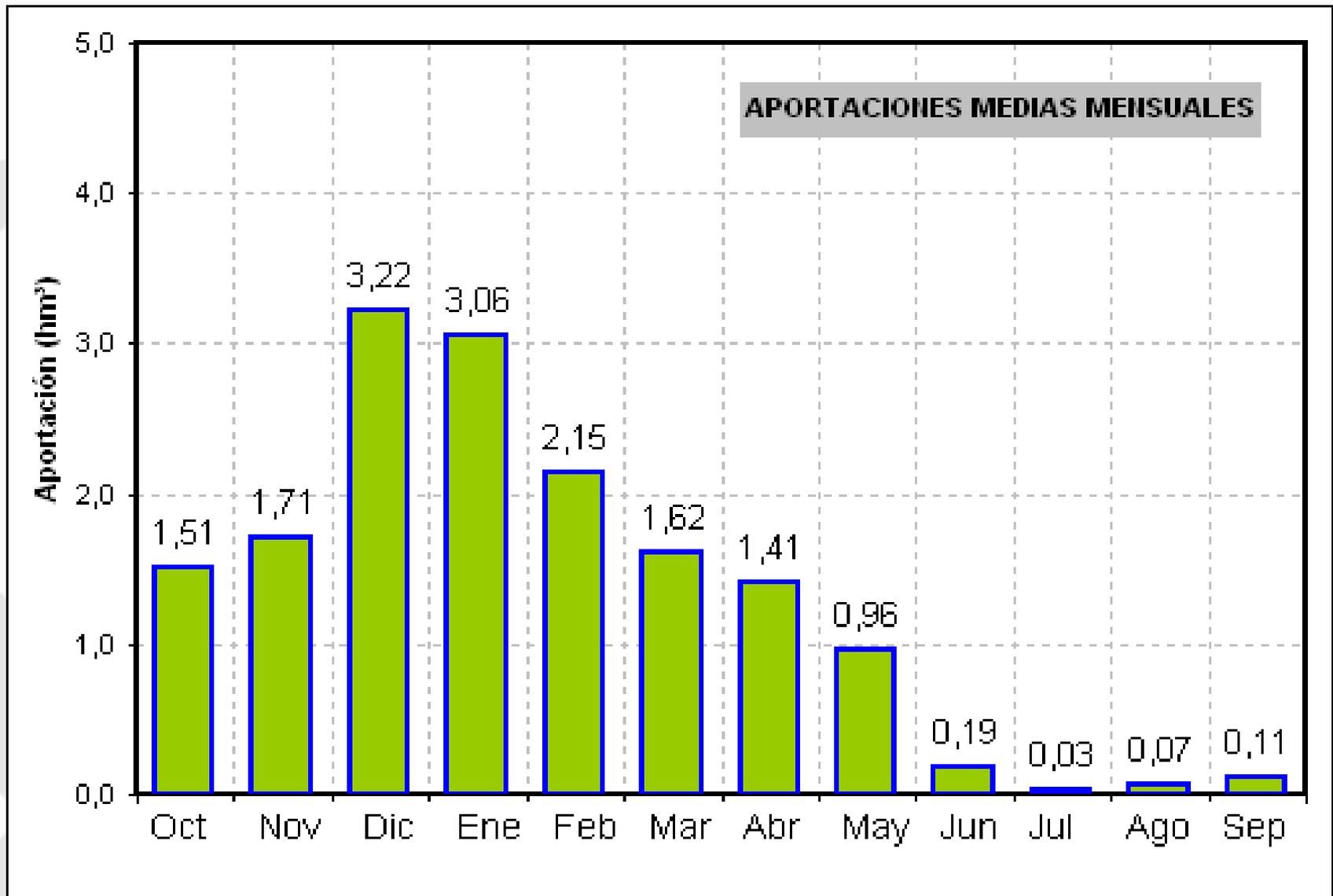


Aportaciones diarias registradas en la estación de aforos E11/04 Torrent de San Miguel (1976-2007)



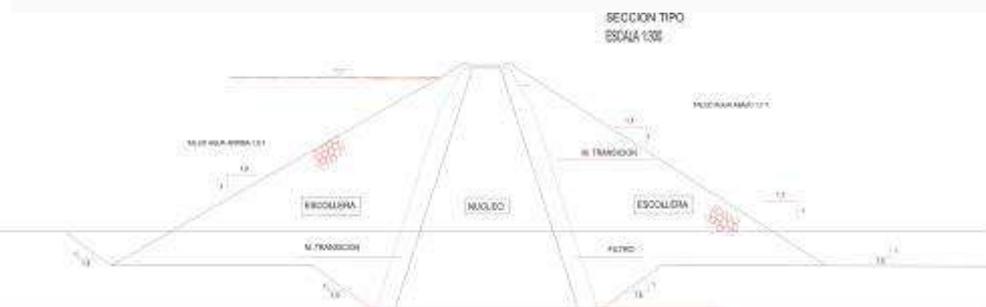
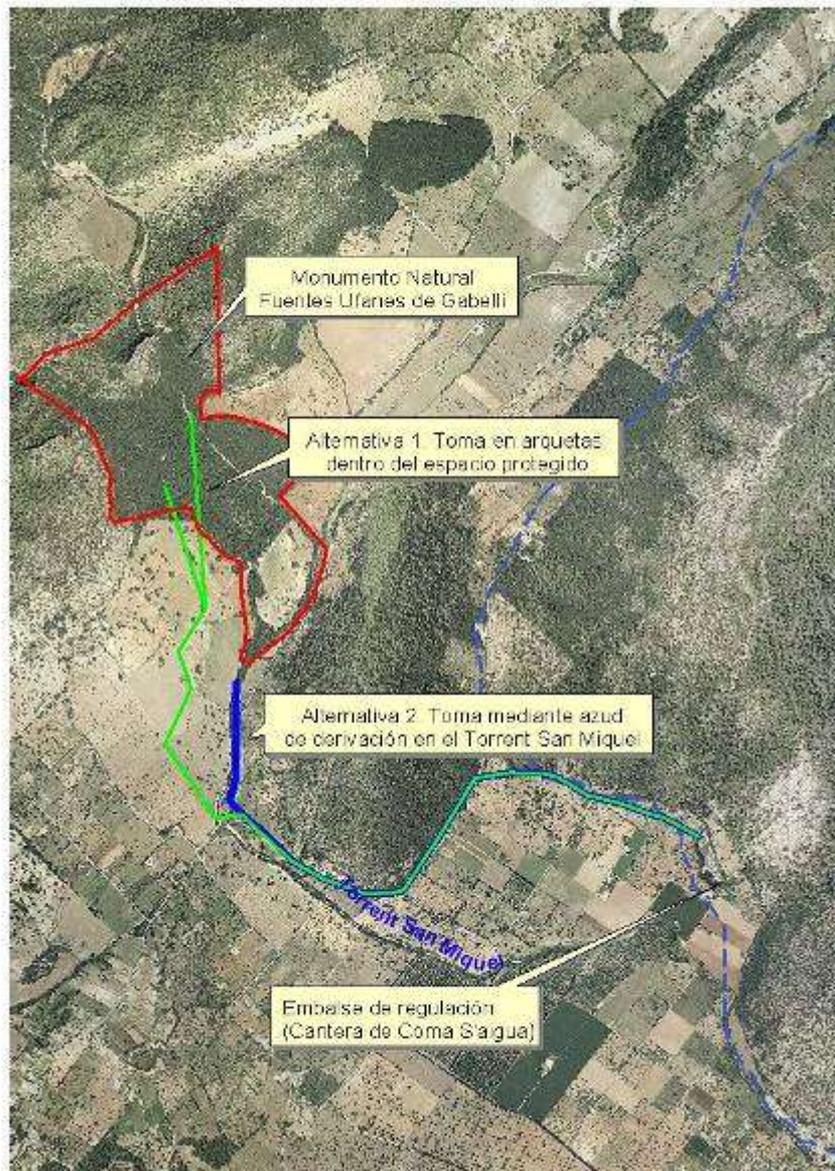






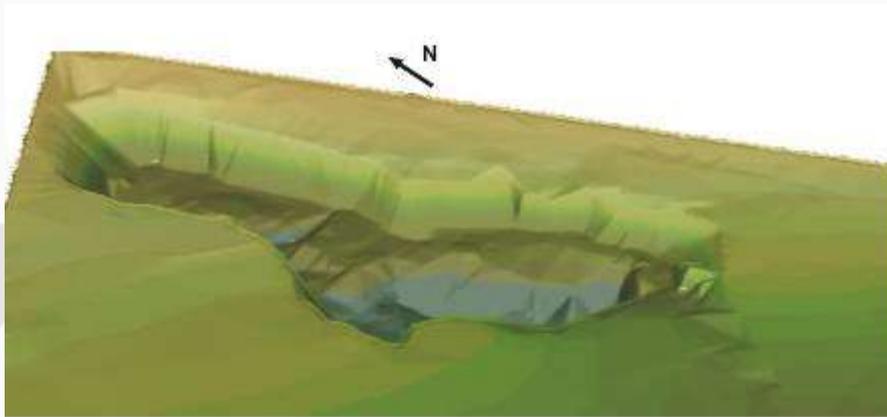
ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

- **Captación del agua de las Ufanés.**
- **Elemento intermedio de regulación de caudales.**
- **Elemento de decantación.**
- **Sondeos de inyección.**
- **Conducciones.**

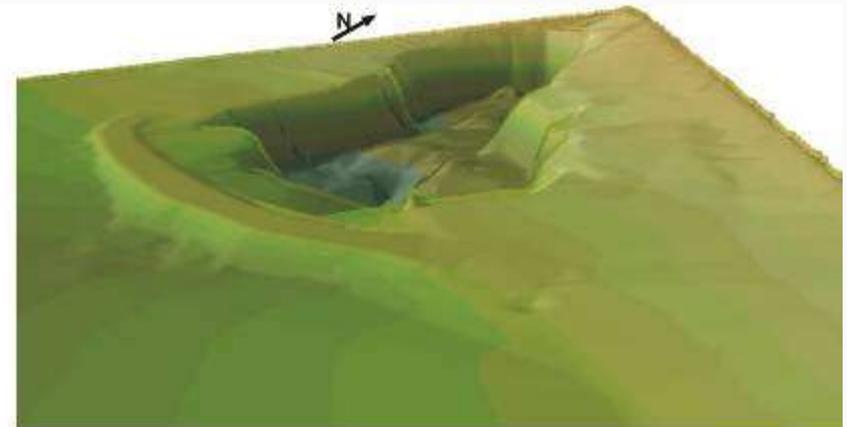




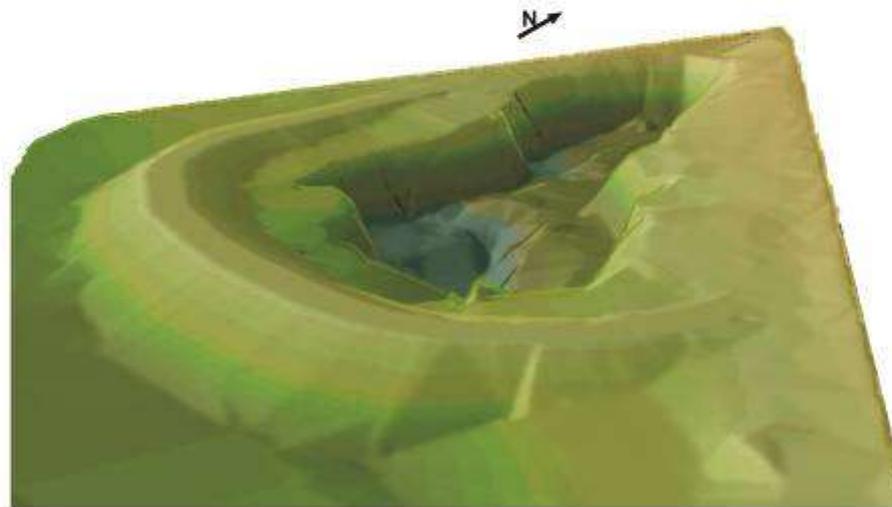




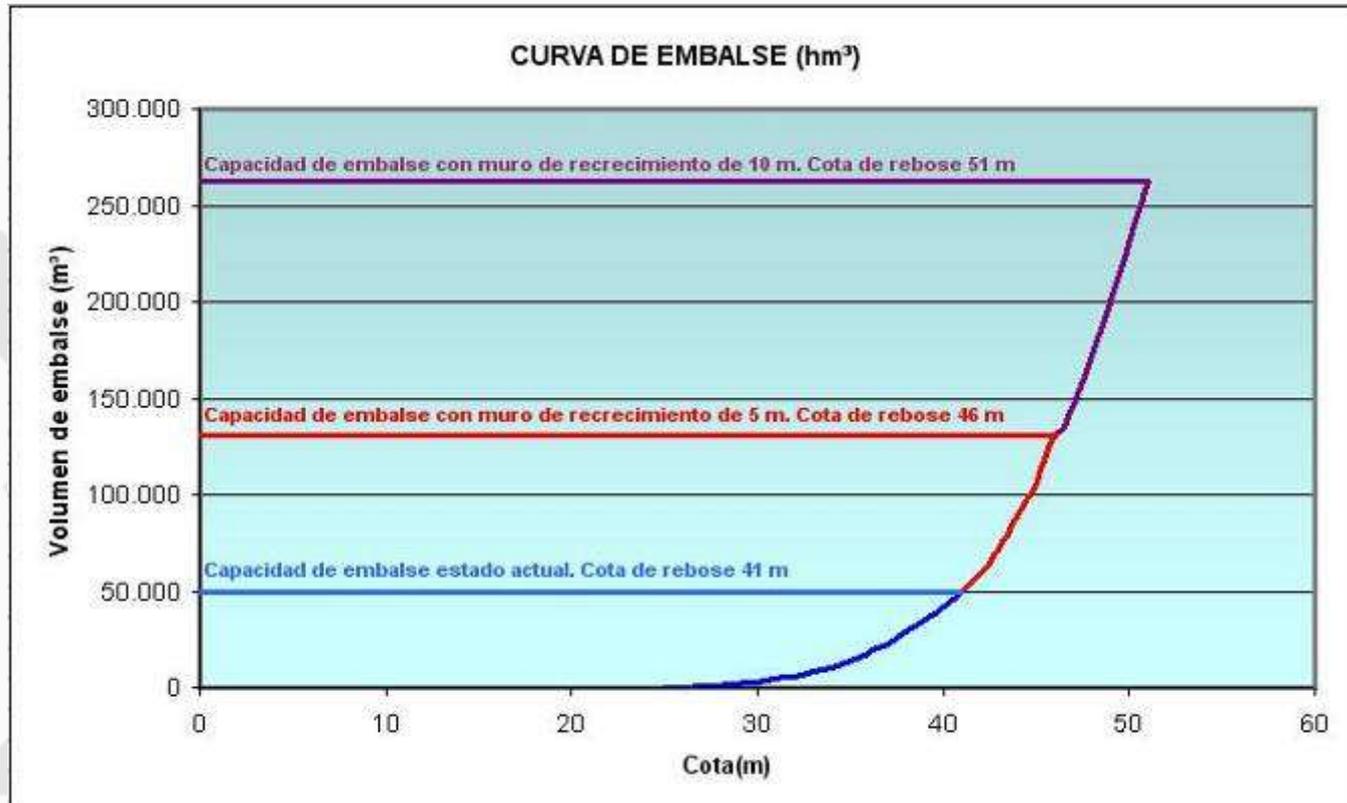
MODELO DIGITAL DEL TERRENO CANTERA COMA S'AIGUA
ESTADO ACTUAL



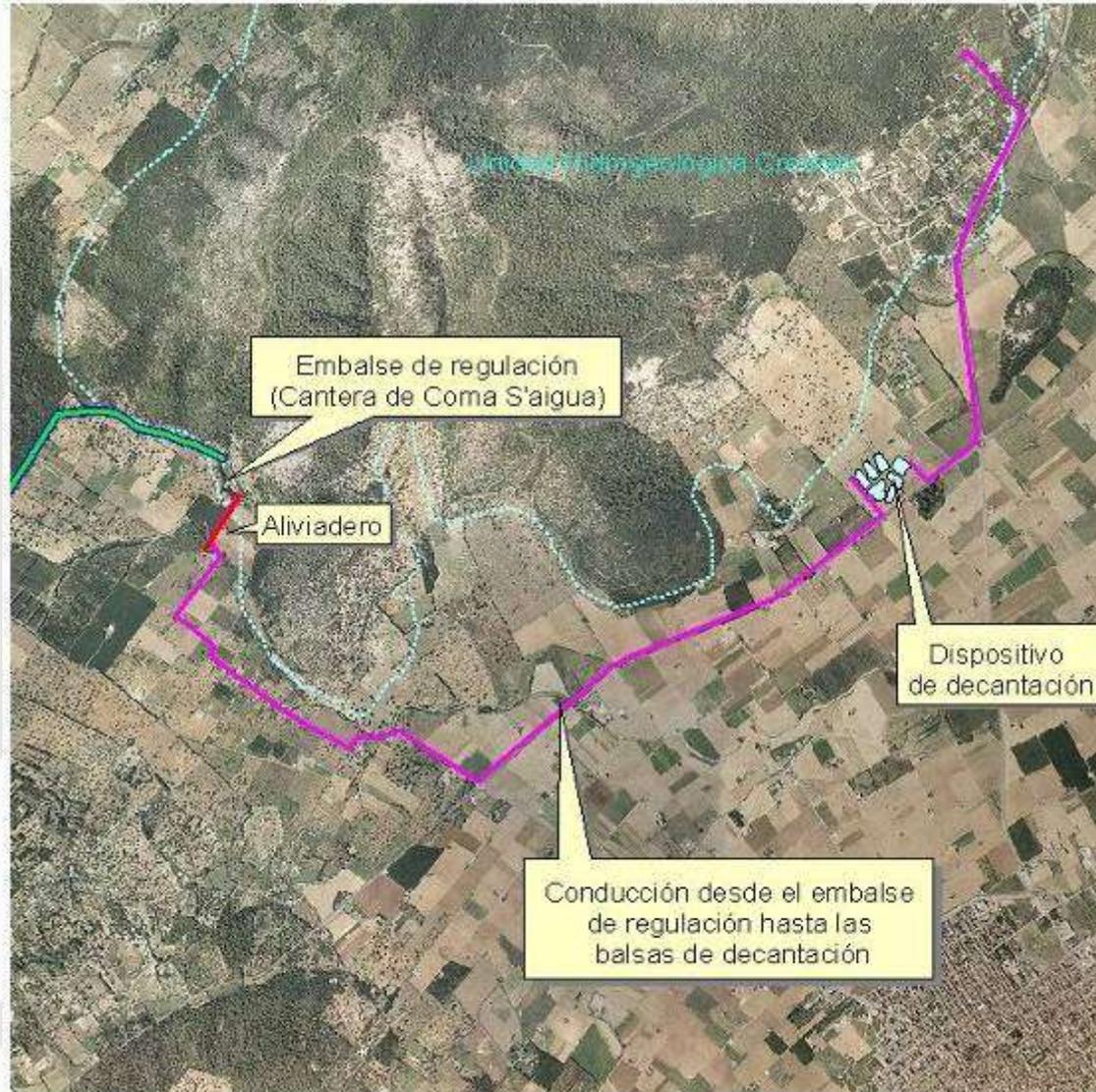
MODELO DIGITAL DEL TERRENO CANTERA COMA S'AIGUA
MURO DE RECRECIMIENTO DE 5 m
POR ENCIMA DE LA COTA DE REBOSE NATURAL



MODELO DIGITAL DEL TERRENO CANTERA COMA S'AIGUA
MURO DE RECRECIMIENTO DE 10 m
POR ENCIMA DE LA COTA DE REBOSE NATURAL

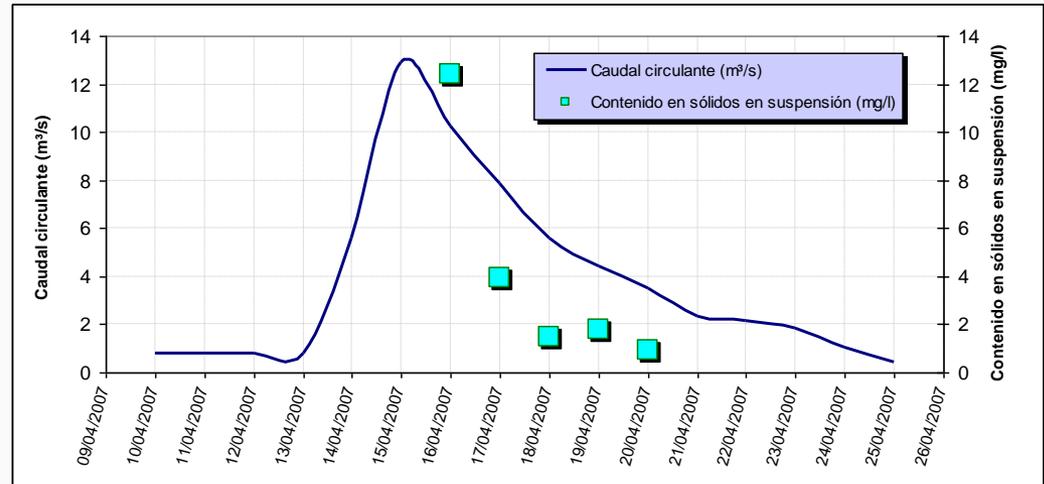


	Nivel mínimo de embalse (m.)	Nivel máximo de embalse (m)	Capacidad de embalse útil m ³
Embalse sin recrecer	25	40.0	42.000
Embalse con muro de 5 m	25	44.8	100.000
Embalse con muro 10 m	25	49.6	217.000



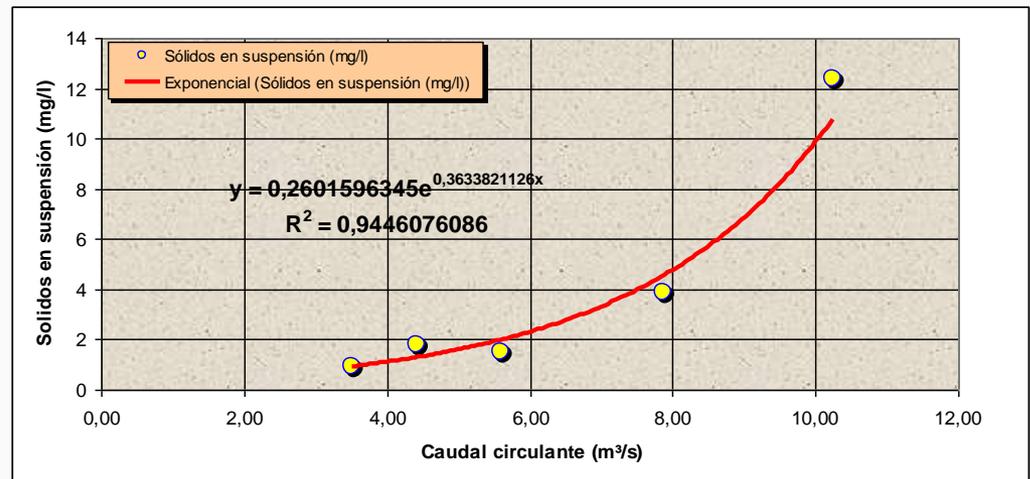


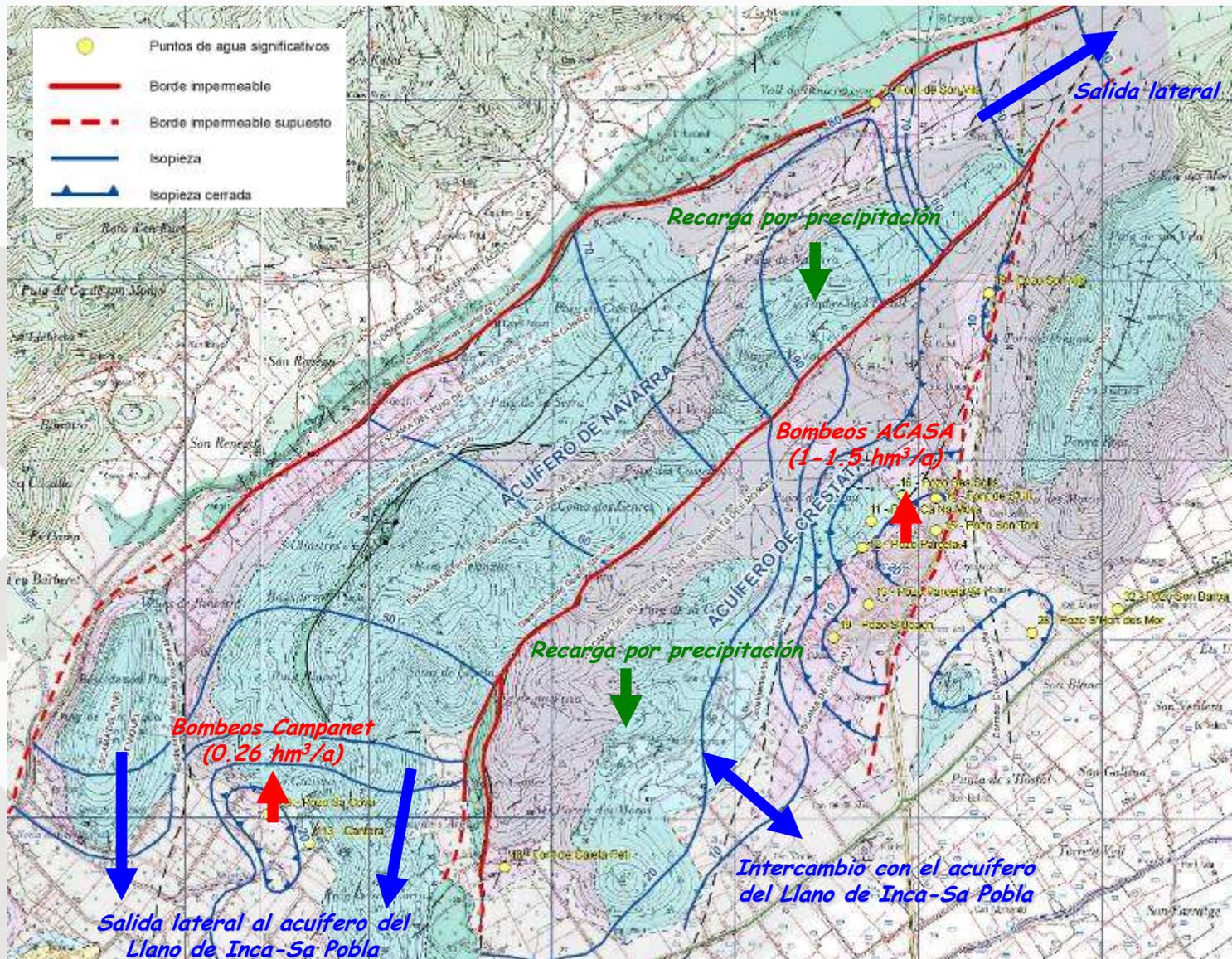
ESTUDIO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN



Contenido en sólidos en suspensión (mg/l)

Mínimo	0,26
Promedio	56,0
Máximo	47.891,5
Percentil 75	0,57
Percentil 85	0,71

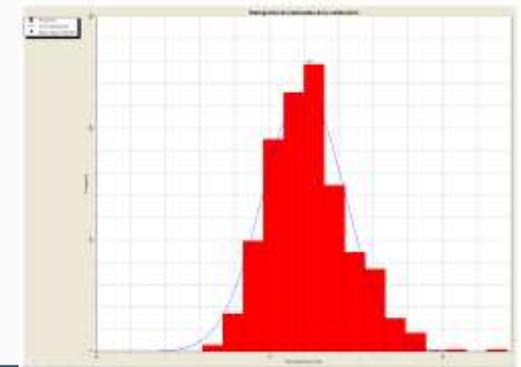
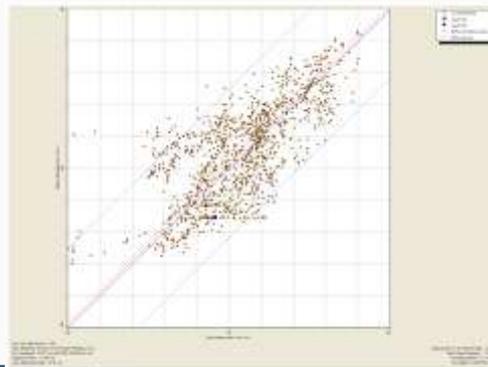
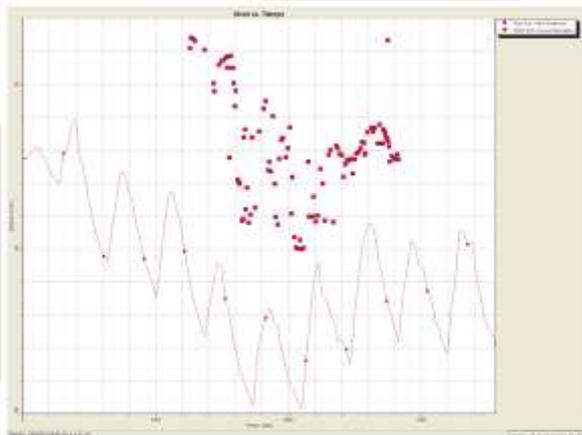
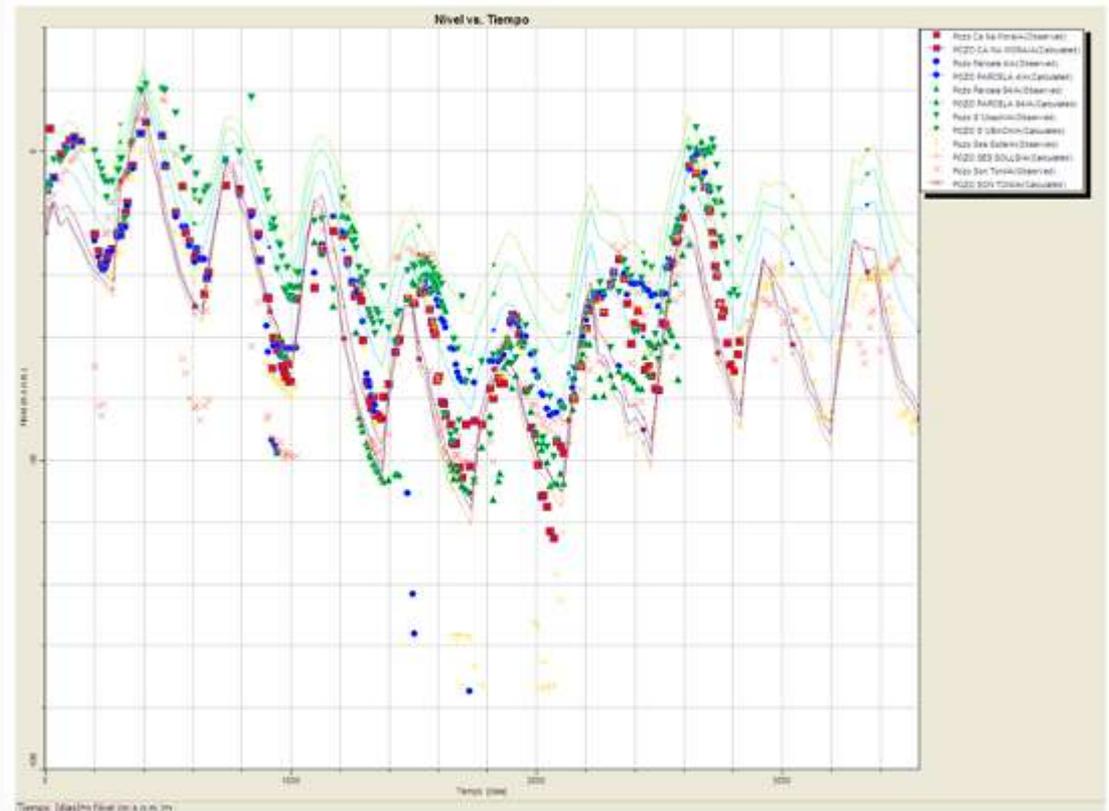




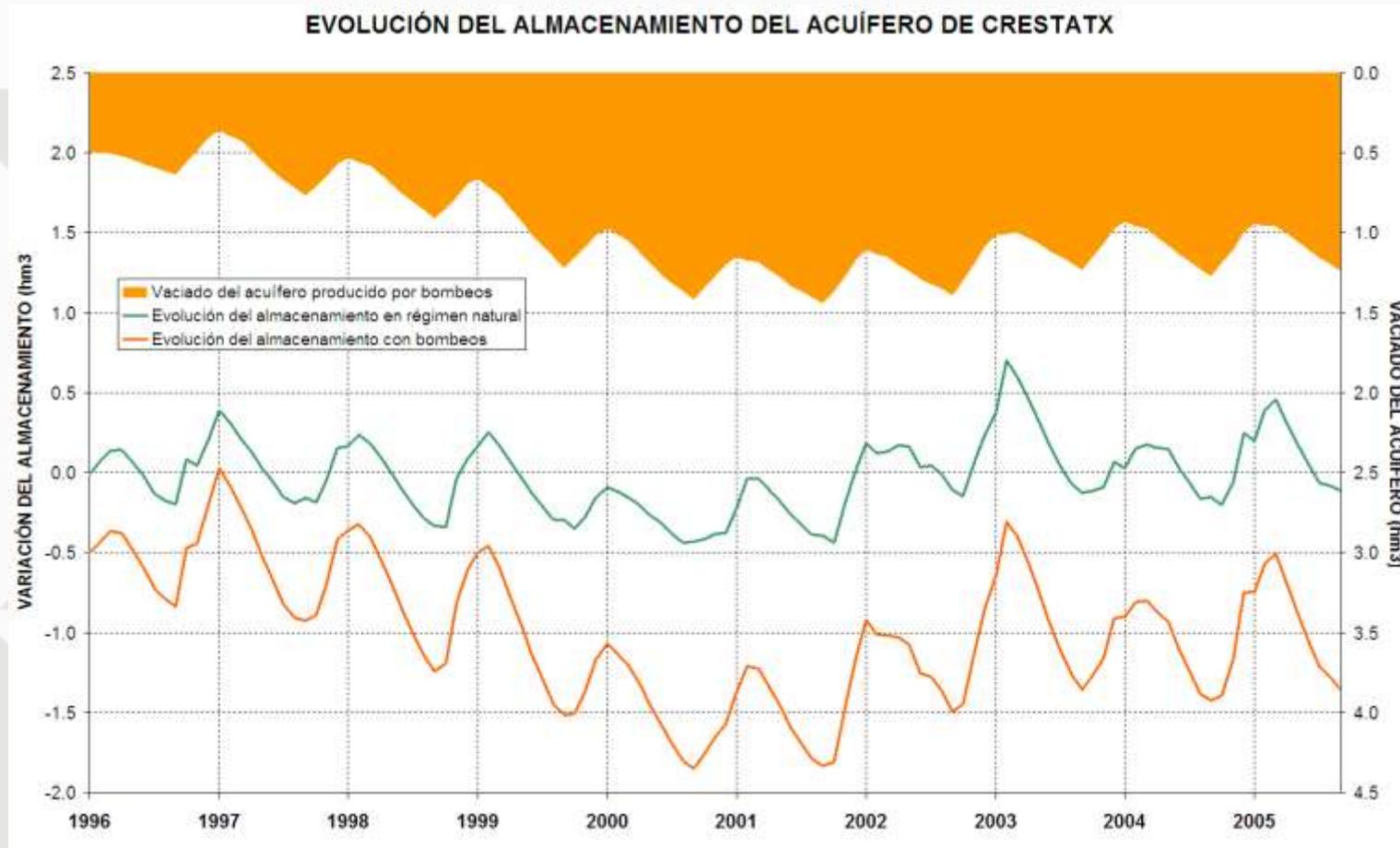
Se trató de reproducir las evoluciones piezométricas disponibles, que corresponden a los pozos de explotación de ACASA en el acuífero de Crestatx.

Los parámetros y factores que hubo que ajustar fueron:

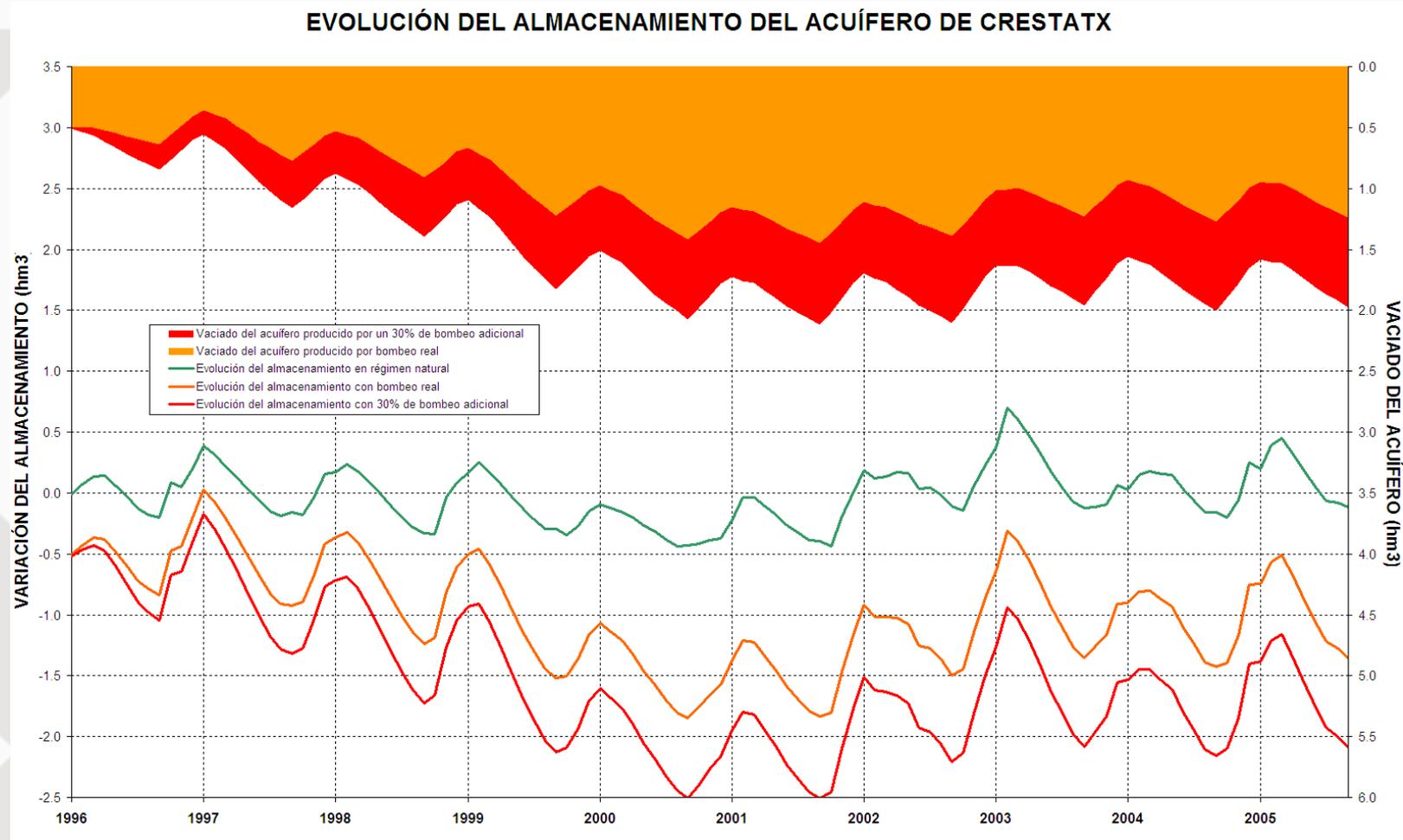
- Parámetros hidrogeológicos (permeabilidad, almacenamiento).
- Condiciones iniciales (piezometría).
- Recarga por infiltración de las precipitaciones (disminución de los valores proporcionados por Visual Balan).



Vaciado del acuífero producido por los bombeos

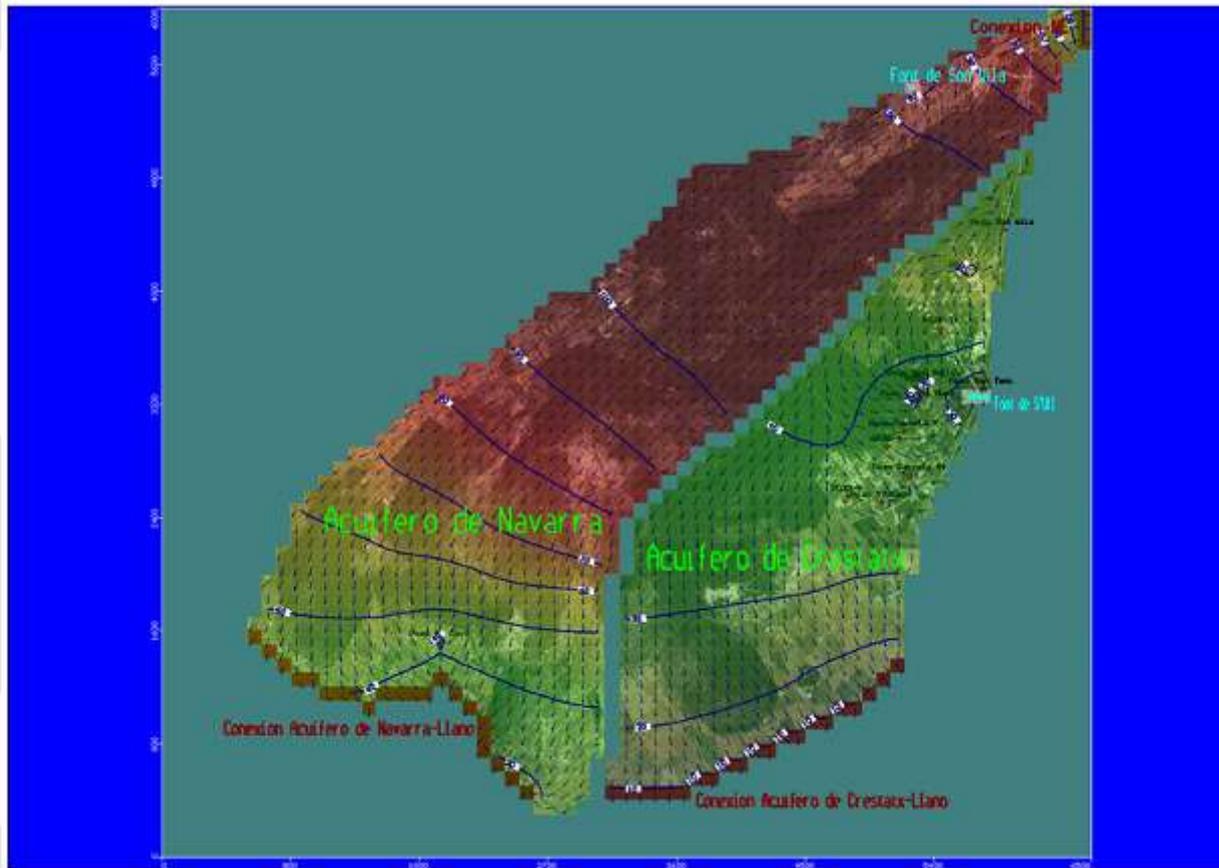


Vaciado del acuífero producido por un aumento de los bombeos en un 30%



Simulación de la Alternativa de recarga artificial con 5 pozos de recarga y caudal máximo de inyección de 10 l/s :

- 5 pozos de recarga en la zona de Crestatx, separados entre si unos 400 m.
- Caudal máximo inyectado en cada pozo: 10 l/s.
- Valor de la recarga artificial anual: 0.70 hm³/a (65% de los recursos disponibles).



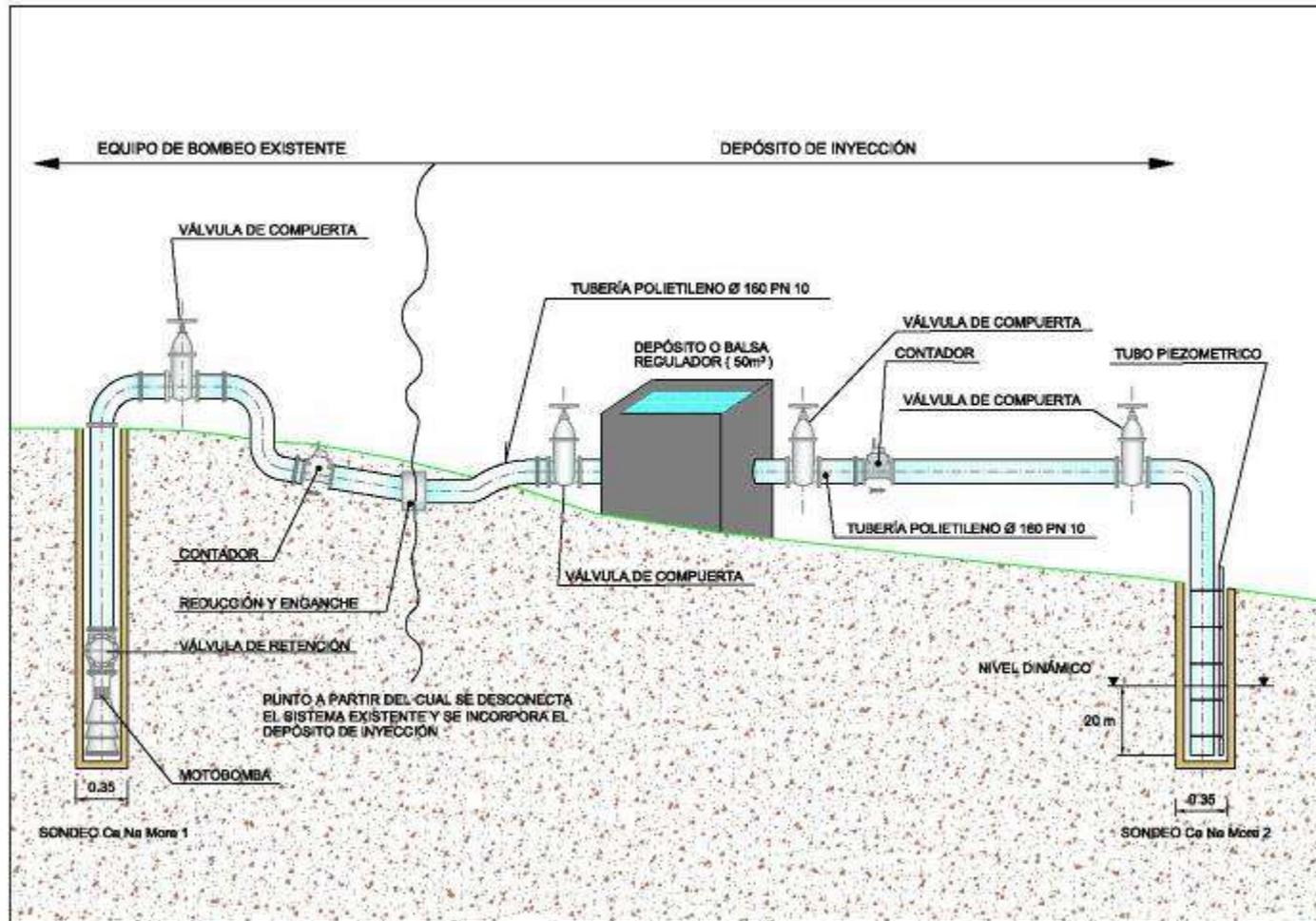
Conclusión:

Se considera factible este escenario de recarga.

Caudales superiores a 1 hm³/año producirían un ascenso del nivel por encima de la superficie del terreno.

La capacidad máxima de almacenamiento es de unos 700.000 m³/año

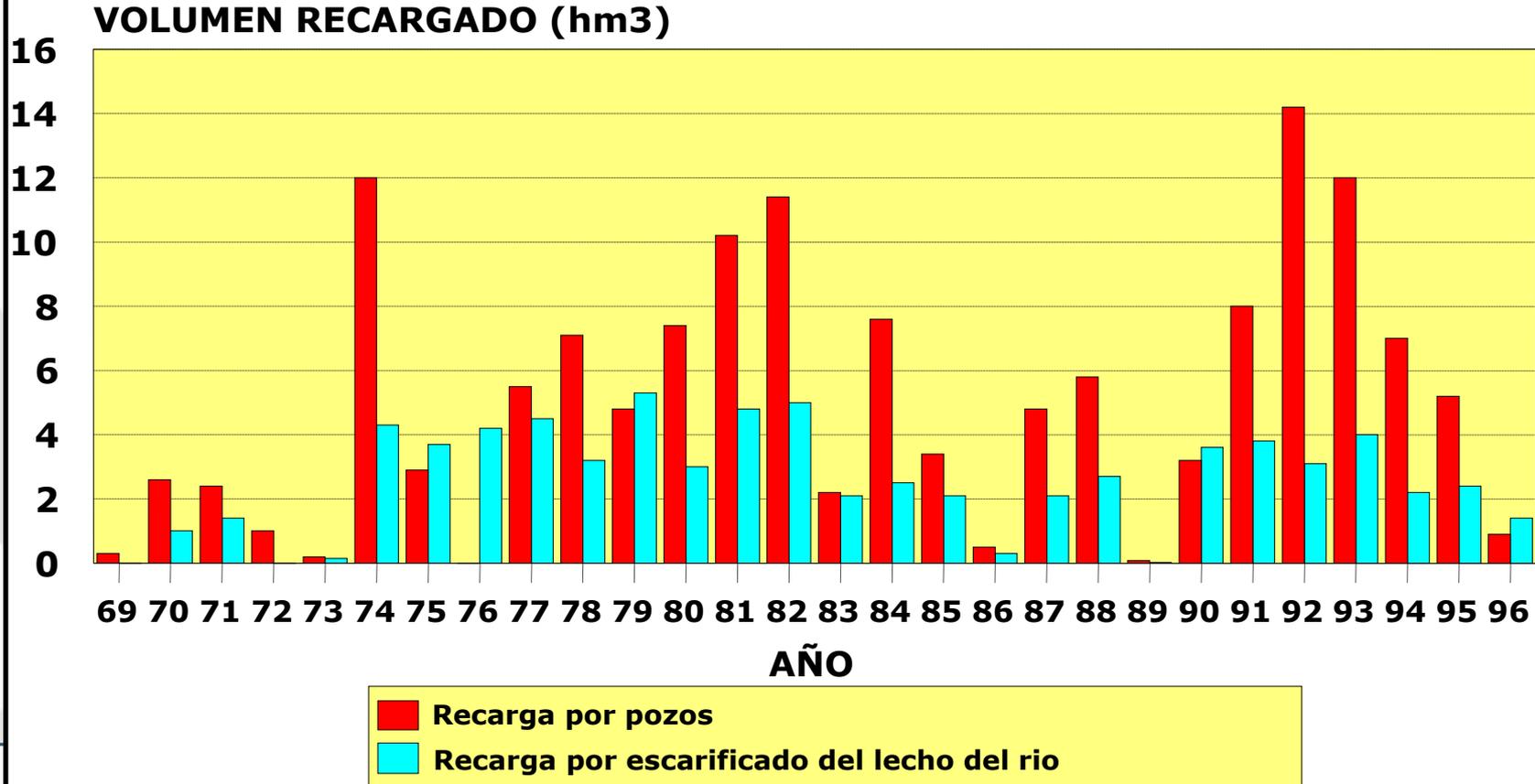
ENSAYO DE INYECCIÓN





Experiencias en Cataluña en los ríos Besós y Llobregat realizadas por la Agencia Catalana del Agua

VOLUMENES RECARGADOS EN EL ALUVIAL DEL RIO LLOBREGAT (AgBar 1997)

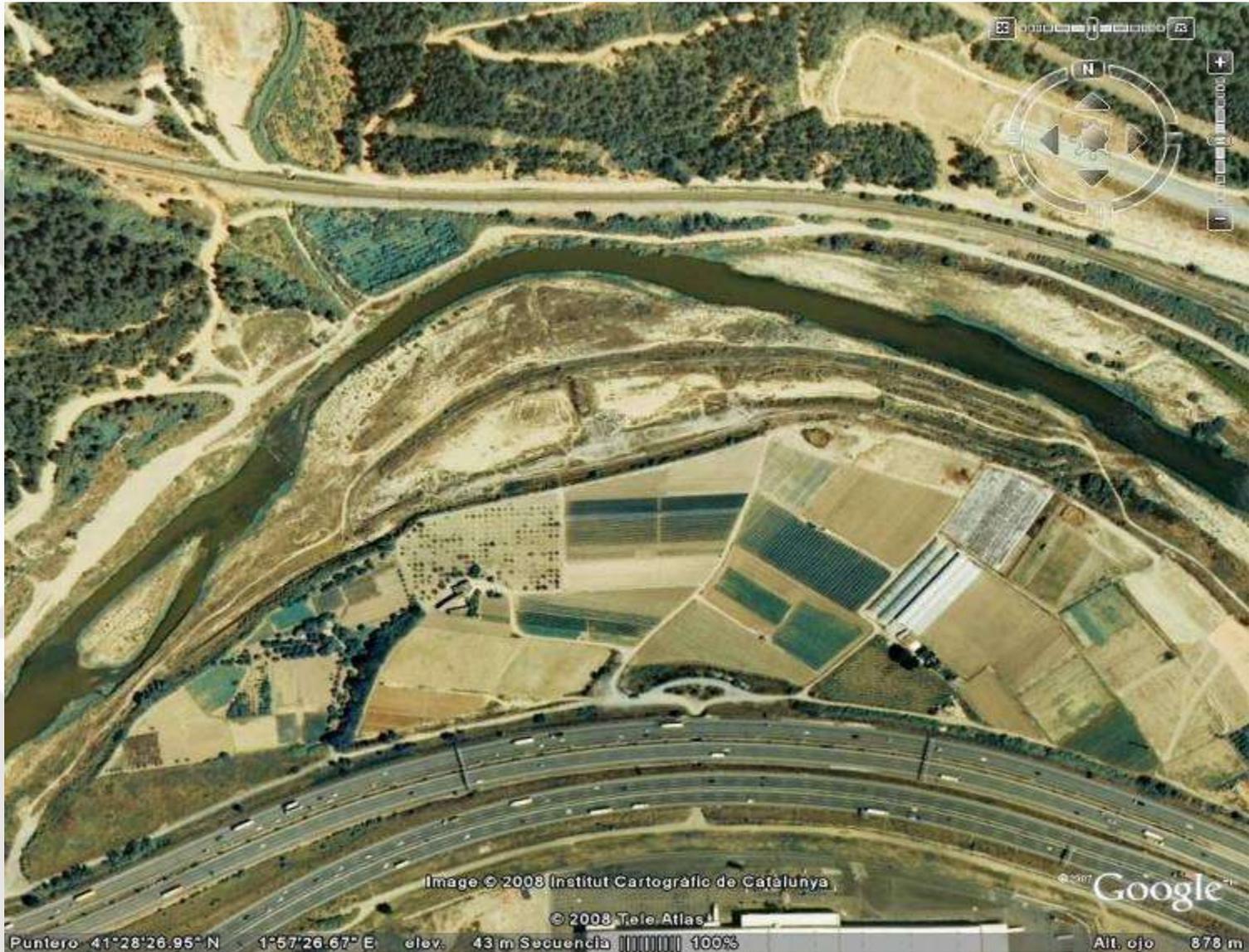




OBJETIVO

Incrementa los recursos subterráneos disponibles para la Explotación del acuífero por parte de la Comunidad de Usuarios de la Cubeta de San Andreu.

La recarga se realiza con agua bruta procedente del río Llobregat. Se trata primero en una balsa de decantación, en forma de humedal, y después pasa a la balsa de recarga.















Basses de Can Albareda (Castellbisbal)

PROJECTE EXECUTIU-BASSES SEGONS CONVENI ACA-CUACSA 114.439'10 EUR
ESTUDIS D'INVESTIGACIÓ SEGONS CONVENI IGME-CUACSA 177.989'00 EUR

CARACTERÍSTIQUES TÈCNiques

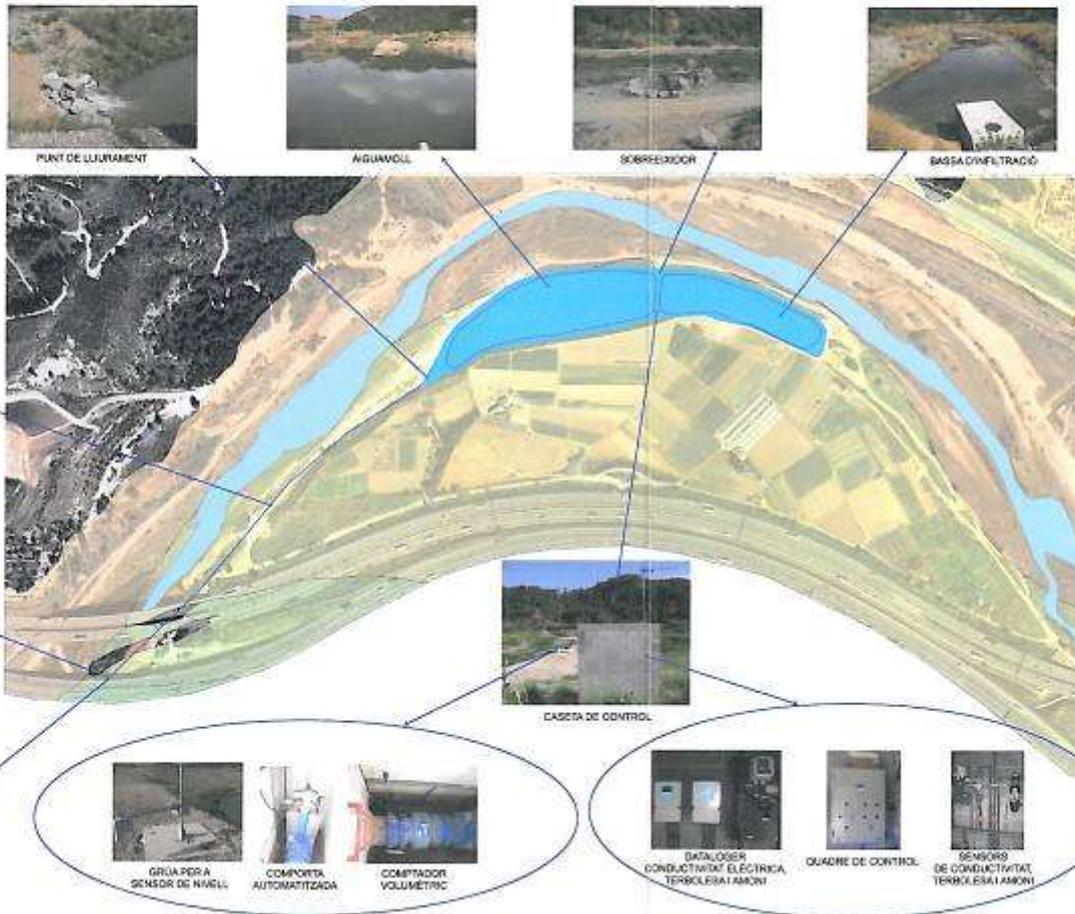
Superfície aljubada	33.000 m ²
Superfície infiltrada	6.000 m ²
Taxa infiltració prevista	1-2 m ³ /m ² /dia
Cabdal derivació inicial	Q ₁ > 5 m ³ /s ⇒ 100 L/s 5 m ³ /s < Q ₁ < 2 m ³ /s ⇒ 10 L/s Q ₁ < 2 m ³ /s ⇒ 0 L/s
Reserva mitja anual	1,6 hm ³ /any
Conductivitat elèctrica	< 2 mS/cm
Arseni	< 0,5 mg/L
Turbidesa	< 100 NTU

LLEGENDA

RIU LLOBREGAT	GEOLOGIA
	Qac3
	Qib
	Qid
	Qe1
	Qe2
	Qe3



Març 2010
 Departament Tècnic CUACSA

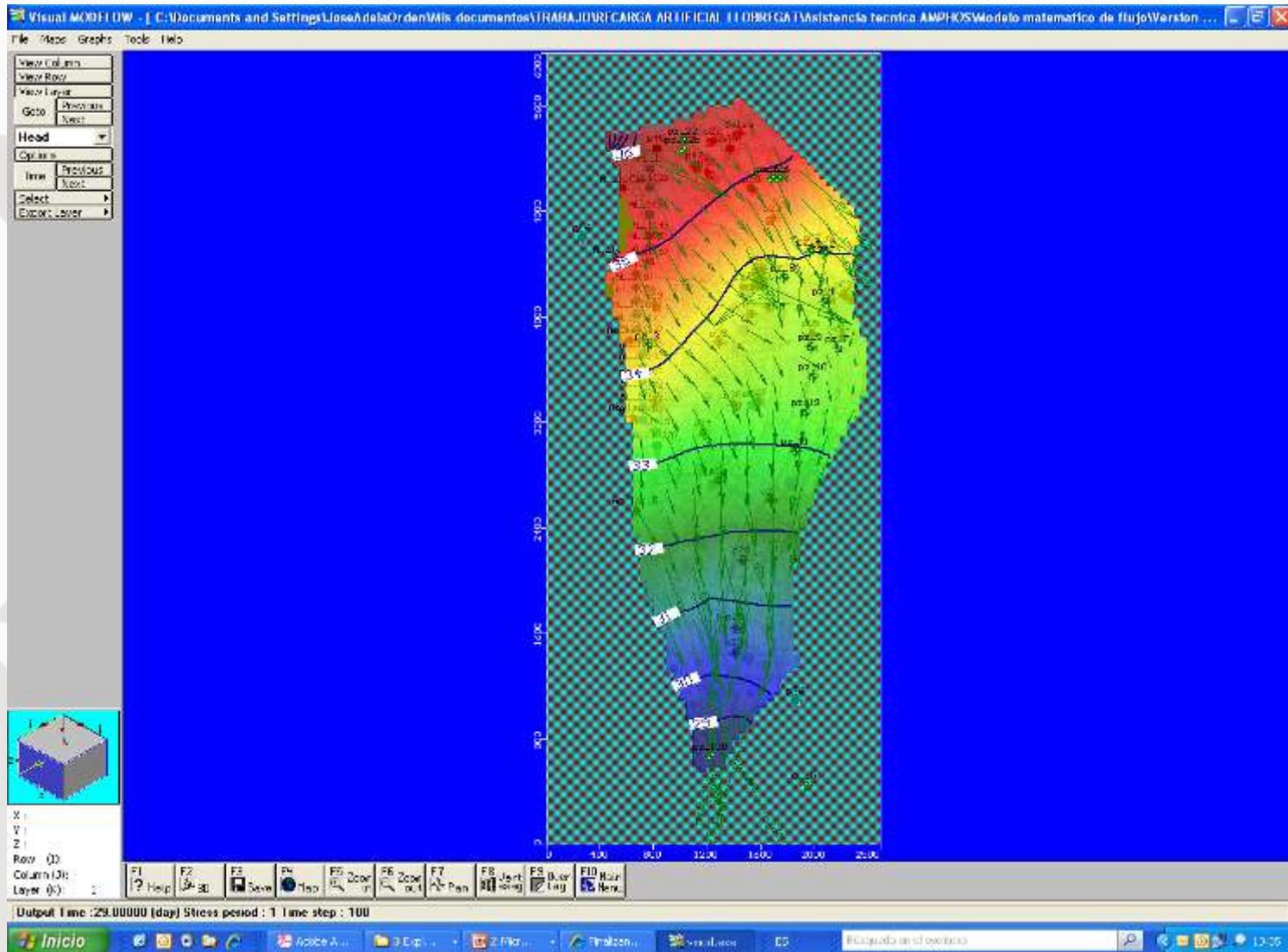








MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO DEL ACUÍFERO



MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO DEL ACUÍFERO



TRABAJOS EN CURSO:

- **Evaluación cuantitativa y cualitativa de la recarga.**
- **Estudio de la colmatación. Muestreo del sedimento depositado en el fondo del humedal, caracterización mineralógica del mismo y correlación de su evolución con la pluviometría de la cuenca, con especial incidencia en episodios de avenidas.**
- **Estudio del comportamiento de la zona no saturada como depurador de contaminantes.**
- **Estudio de la presencia de contaminantes emergentes y su distribución en la zona no saturada hasta llegar al nivel freático.**



Instituto Geológico
y Minero de España